

PAT-NO: JP408005351A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08005351 A
TITLE: SLIT BEAM CALIBRATION METHOD OF THREE-DIMENSIONAL VISUAL SENSOR
PUBN-DATE: January 12, 1996

INVENTOR-INFORMATION:

NAME
TAKIZAWA, KATSUTOSHI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME COUNTRY
FANUC LTD N/A

APPL-NO: JP06159646

APPL-DATE: June 20, 1994

INT-CL (IPC): G01B011/26

ABSTRACT:

PURPOSE: To simplify calibration by obtaining data indicating the values of plane parameters indicating each light projection direction of slit beams corresponding to a plurality of values given as a command value as data for interpolation calculation to obtain each light projection direction on measurement.

CONSTITUTION: A flat surface 41 of an object 4 for calibration is mounted on a known first plane and a light source 12 is lit. A command value Vh ($h=1-n$: Integer) is fed to a mirror 13 for polarization, slit beams are projected, and a light band formed on the flat surface 41 is shot by a camera 11. A plurality

of points on the light band are specified by a monitor CRT and a cursor, the visual line of the camera 11 is obtained, and the three-dimensional position of each point is obtained. An index value (h) is incremented by one and processing is repeated and the mirror 13 is returned to an original position when h=n is completed. The flat surface 41 is shifted to a know second plane and a similar processing is performed. Parameters indicating a plane sharing each point are obtained from the position data and are stored at a register region and then calibration is performed.

COPYRIGHT: (C)1996, JPO

特開平8-5351

(43)公開日 平成8年(1996)1月12日

(51)Int.Cl.
G 0 1 B 11/26識別記号
H

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数2 FD (全8頁)

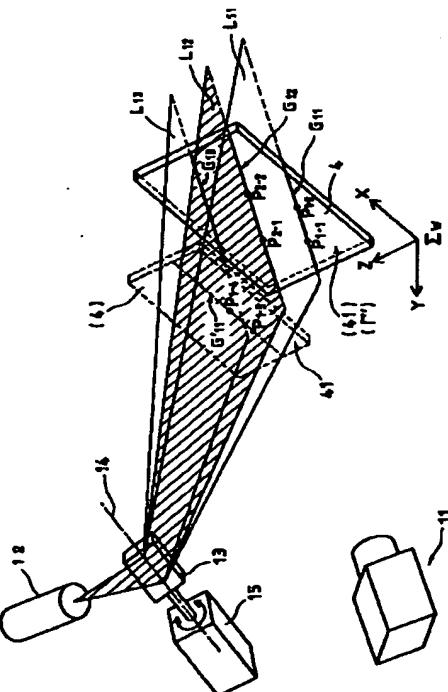
(21)出願番号	特願平6-159646	(71)出願人	390008235 ファナック株式会社 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地
(22)出願日	平成6年(1994)6月20日	(72)発明者	池澤 克俊 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内
		(74)代理人	弁理士 竹本 松司 (外4名)

(54)【発明の名称】 3次元視覚センサのスリット光キャリブレーション方法

(57)【要約】

【目的】 3次元視覚センサにおけるスリット光投光方向に関するキャリブレーションの簡素化。

【構成】 キャリブレーション用物体4を、平坦面41が既知の第1の平面 Γ 上に乗るように配置する。そして、投光器12を点灯し、偏向用ミラー13に指令値 $V_h = V_{min} + h \Delta V$ ($h=0, 1 \cdots n$) を送り、スリット光を投光し、平坦面41上に光帶G11, G12またはG13等を形成し、カメラ11で撮影する。各 h について、適宜数の指定点P1-1, P1-2等の3次元位置を計算する。次いで、キャリブレーション用物体4の位置を変更し、平坦面41が既知の第2の平面 Γ' 上に乗るように配置し、同様の手順で指定点P1-3, P1-4等の位置を各 h の値について計算する。各 h (=0~n)について、計算された点Ph-1, Ph-2, Ph-3, Ph-4等の位置データから、各 h について、投光面11hを表わす方程式 $Ah X + Bh Y + Ch Z + Dh = 0$ を規定するパラメータAh, Bh, Ch, Dhを計算し、対応する指令値Vhと併せて画像処理装置に記憶させる。



1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 制御された方向へ向けてスリット光を投射して対象物上に光帯を形成する投光手段と、カメラ手段と、該カメラ手段を介して獲得された映像信号を解析する画像解析手段と、前記投光手段に前記スリット光の投光方向を規定する指令値を与えることを通して前記投光手段からの前記スリット光の投光方向を制御する手段とを備えた3次元視覚センサにおけるスリット光キャリブレーション方法であって、

前記指令値について複数の相異なる値を与えた条件の下で各指令値に対応したスリット光の投光方向を表わす平面パラメータの値を表わすデータを、計測実行時の前記指令値に対応したスリット光投光方向を求める為の補間計算用データとして求める段階を含むことを特徴とする前記方法。

【請求項2】 前記指令値について複数の相異なる値を与えた条件の下で各指令値に対応したスリット光の投光方向を表わす平面パラメータの値を表わすデータを、計測実行時の前記指令値に対応したスリット光投光方向を求める為の補間計算用データとして求める段階が、
スリット光を投光する平坦面を有する物体を既知の異なる位置に配置した各条件の下で形成された光帶上の1つまたはそれ以上の点についての位置を計算する段階と、該位置を表わすデータに基づいて対応する投光平面を表わす方程式を規定するパラメータを計算する段階を含むことを特徴とする請求項1に記載された3次元視覚センサのスリット光キャリブレーション方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本願発明は、対象物の3次元的位置あるいは位置と姿勢（以下、特に区別しない限り、両者併せて単に「位置」と呼ぶ。）を計測する為に使用されるスリット光投光型の3次元視覚センサのスリット光投光手段のキャリブレーション方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 工場の製造ラインにおける組み立て作業、加工業等においては、作業の自動化・省力化を図る為に、ロボット等の自動機械とカメラ手段を利用した視覚センサとを組み合わせたビジョンシステムが利用されている。例えば、製造ライン上の概略所定位置に供給される一方の組み立て作業対象ワークをCCDカメラで撮像し、得られた画像を解析することによって該ワークの正確な位置を視覚センサで検出し、その結果に基づいて他方の組み立て作業対象ワークを把持したロボットの位置補正を行なう方式で、ワーク間の位置ずれ補正が行なわれている。

【0003】 このようなビジョンシステムに取り入れられる代表的な3次元視覚センサとして、スリット光投光型の3次元視覚センサがある。これは、3次元視覚センサに装備されたスリット光投光器から、制御された方向

にスリット光を投光し、対象物上に周辺よりも高輝度の光帯を形成し、これをCCDカメラ等のカメラ手段によって観測して三角測量の原理に基づいて対象物の3次元計測を行なうものである。

【0004】 図1は、この原理を説明する概念図で、符号F1はスリット光投光器の位置、F2はカメラのレンズ中心を表わしている。スリット光投光器からは、被計測対象物Wへ向けてスリット光L1が投光され、対象物W上に光帯Qが形成される。光帯Qは、スリット光投光方向とは異なる方向からカメラによって観測され、カメラのイメージプレーンIP上で像wとして捕捉される。

【0005】 光帯Q上の点P（例えば、光帯Qと対象物Wの稜線の交点）がイメージプレーンIP上の点p(u, v)に結像したとすれば、点Pは、3次元空間内で点F2と点pを通る視線L2とスリット光L1の平面（以下、この平面をもL1と呼ぶ。）との交点である。従って、この視線L2と平面L1との交点を求めることにより、点Pの3次元位置を求めることが出来る。このような原理は従来より広く知られている。

10 20 【0006】 ところで、このような原理に基づいて実際に3次元計測を行なう為には、次の2つの条件（1）、（2）が満たされていなければならない。

【0007】 （1）3次元空間内のスリット光平面L1の位置と姿勢、即ち平面L1の方程式が既知であること。

（2）イメージプレーンIP上の位置p(u, v)に対応する視線L2を計算することが出来ること。

これら条件を満たす為には、（1）及び（2）の各々に関して3次元視覚センサのキャリブレーションが必要となる。

30 30 本願発明は、（1）の条件を満たす為のキャリブレーション方法を提供するものであり、（2）の条件を満たす為のキャリブレーションについては本願発明の対象外である。

【0008】 一般に、スリット光L1の投光方向は固定的なものではなく、投光方向を一定の範囲で変化させ、各投光位置でワークW上に形成された光帯Qをカメラで観測することが行なわれる。その為に、通常の方式では、円筒レンズで一方向に拡張されたレーザ光ビームをモータで駆動される回転ミラーで反射することによって投光方向が制御される。従って、スリット光L1の投光方向は、回転ミラーの回転角を制御することを通して制御される。回転ミラーの回転角度は、3次元視覚センサシステムに組み込まれた画像処理装置等の制御装置からの指令値によって定められる。

40 40 【0009】 このような回転ミラーを用いた偏向機構を備えた3次元視覚センサを使用する上での大きな問題点は、ミラーの回転角度の指令値と実際に投射されるスリット光平面L1の方程式の関係を求める為の計算手続きが非常に複雑なことである。

50 【0010】 今、ミラーの回転軸をz軸とする座標系

【0018】

【実施例】図2は、本願発明のスリット光キャリブレーション方法の適用対象とされる3次元視覚センサのシステム構成の概略を示したものである。システム全体は、画像処理装置1、センサ部コントローラ2、センサ部10から構成されている。画像処理装置1は通常使用されている型のもので、画像処理装置1全体を統括制御するマイクロプロセッサ(以下、「CPU」と言う。)を備えている。

【0019】このCPUには、画像解析用のプログラム、センサコントローラ2を制御する為のプログラム等が格納されたROMメモリ、センサ部10に装備されたCCDカメラ11で撮影された画像をグレースケールによる濃淡信号として格納するフレームメモリ、並びに、画像解析用の画像処理プロセッサ、各種設定値等の格納や計算時のデータの一時記憶に使用されるRAMメモリが接続されている。

【0020】更に、キーボードを備えた手動操作部に加えて、センサ部コントローラ2や画像モニタ用のCRT、あるいは外部のコンピュータやロボット制御装置などに対する入出力装置の役割を果たす汎用信号インターフェイスがCPUに接続されている(個別要素の図示は省略)。なお、手動操作部のキーボードは、画像モニタ用のCRT上のカーソル移動、マニュアル指令入力を行なう機能を備えているものとする。

【0021】センサ部10の投光器12は、レーザ光を円筒レンズを介してスリット状の光に変換し、更に、これを偏向用ミラー13で反射させた上で被計測対象物へ向けて投射する。偏向用ミラー13は、モータ15によりその回転軸14を中心に回転制御されており、スリット光が投光される方向は、画像処理装置1からのセンサ部コントローラ2を介して与えられる指令値信号によって制御され得るようになっている。

【0022】また、投光器12のON/OFFについても、同様に画像処理装置1によってセンサ部コントローラ2を介して制御される。従って、画像処理装置1は、投光器12のON/OFF状態及びスリット光の投光方向を常時監視・制御することが出来る。

【0023】画像処理装置1からセンサ部コントローラ2へ必要な投光指令を送ると、投光器12がON状態となり、偏向用ミラー13の回転角度θに対応した方向へスリット光が投光される。対象物上に投射されたスリット光は、表面上に明るい光帯を形成する。この状態で、画像処理装置1からセンサ部コントローラ2へ撮影指令を送ると、CCDカメラ11が作動し、光帯像が撮影される。画像信号は汎用インターフェイスを介して画像処理装置1内に取り込まれ、フレームメモリに格納される。

【0024】以上の構成及び機能は、通常の3次元視覚センサシステムと基本的に変わることはないが、本実

施例では、次に述べる手順でキャリブレーションを実行する際に必要となる計算を実行する為のプログラム及び設定値が画像処理装置1のROMあるいはRAM内に予め格納されており、また、獲得されたキャリブレーションデータを格納するレジスタ領域が画像処理装置1内のRAM内に設定されている。

【0025】以下、このような構成と機能を有するシステムを利用して、本願発明に従ったスリット光キャリブレーション方法を実施する手順について図3及び図4を参照して説明する。図3はキャリブレーションを実行する為の配置を概念的に示したもので、図2で示した要素については同じ符号が付されている。また、符号4はキャリブレーション用の物体であり、適度の光拡散反射性を有する平坦面41を備えている。投光器12から偏向用ミラー13の回転角θに応じてスリット光がキャリブレーション用の物体4の平坦面41に入射すると光帯が形成され、それがCCDカメラ11によって撮影される。

【0026】図4は、図3に示した配置を用いてキャリブレーションを実行するプロセスの一例をフローチャート形式で示したものである。各ステップの概要は次の通りである。なお、従来技術の説明の中で触れたカメラ1のキャリブレーションについては、公知の適当な方法によって完了済みであるものとする。

【0027】ステップS1：キャリブレーション用物体4を、投光器12による投光範囲内で、その平坦面41がワールド座標系Σw上の既知な第1の平面Γ上に乗るように配置する。

【0028】ステップS2：画像処理装置1の手動操作部のキーボード操作によって、投光器12を点灯する。ステップS3：偏向用ミラー13に指令値Vh = Vmin + hΔV (hは偏向ミラー13の回転角度を表わす初期値0の整数指標；h = 0, 1, 2, ..., n) を送り、スリット光をキャリブレーション用物体4に投光し、その平坦面41上に光帯を形成する。

【0029】第1回目のステップS3ではh=0とし、指令値Vh = Vminを送る。ここで、Vminは偏向ミラー13の動作レンジ内で最小の回転角θminに対応した指令値である。また、ΔVは指令値Vについて設定される補間刻み量で、動作レンジ内で最大の回転角θmaxを与える指令値をVmaxとして、 $\Delta V = (V_{\text{min}} - V_{\text{max}}) / n$ で定義される。nの値は、回転角θの動作レンジθmin ~ θmaxの大きさ、V-θ特性の線形性の程度、要求されるキャリブレーション精度等を考慮して定められる正整数値である。nの実際的な値としては、例えば5~20程度が考えられる。図3では、異なるhの値に対応する投光面及び光帯として、L11, L12, L13及びG11, G12, G13が例示されている。

【0030】ステップS4：キャリブレーション用物体4の平坦面41上に形成された光帯をカメラ11で撮影

する。

ステップS5；モニタCRT上に光帶画像を表示させ、カーソル移動によって、光帶像上の複数の点を選択指定し、キャリブレーション計算プログラムを起動させてカメラ11の視線を表わす方程式をCPUに計算させる。図3では、光帶G11上の指定点としてP1-1, P1-2、光帶G12上の指定点としてP2-1, P2-2が例示されている。

【0031】ステップS6；ステップS5で選ばれた点の3次元位置を、各点に対応した視線と平坦面41の乗っている平面の交点位置として求める。図3の例で言えば、 Γ_1 上の2点P1-1, P1-2あるいは2点P2-1, P2-2の位置を計算する。計算結果を表わすデータは、画像処理装置1のRAM上に用意された所定領域に格納する。

【0032】ステップS7；指標値hを1アップする。ステップS8； $h > n$ となっていない限り、ステップS3へ戻る。

ステップS3～ステップS8は、 h が $n+1$ となるまで繰り返される。これにより、回転ミラー13の回転角レンジの全域に分布させた回転角に対応した指令値 V_{min} , $V_{min} + \Delta V$, $V_{min} + 2\Delta V$... $V_{min} + n\Delta V$ ($= V_{max}$)について、各々の投光面L1h上の点Ph-1, Ph-2等の位置データが獲得される。

【0033】ステップS9；以上のプロセスが完了したら、相異なる位置への所定回数のキャリブレーション用物体配置（ここでは2回とする。一般には、2回以上の任意回数）に達していないことを確認し、ステップS10を経てステップS11へ進む。

ステップS10；偏向ミラー13の回転角度を表わす指標hを0にリセットする。

【0034】ステップS11；キャリブレーション用物体4を、投光器12による投光範囲内で、その平坦面41がワールド座標系 Σ_w 上の既知な第2の平面 Γ' 上に乗るように配置し、ステップS3へ戻る。以下、平面 Γ' に関して、上記ステップS3～ステップS8と同様の手順を繰り返す。図3には、第2の平面 Γ' 上の位置計算指定点として、P1-3, P1-4が例示されている。

【0035】このようにして、平面 Γ , Γ' の各々に対応した処理サイクル（ステップS3～ステップS8）を繰り返すことによって、結局、回転ミラー13の回転角レンジの全域に分布させた回転角に対応した指令値 V_{min} , $V_{min} + \Delta V$, $V_{min} + 2\Delta V$... $V_{min} + n\Delta V$ ($= V_{max}$)について、各々の投光面L1h上の点Ph-1, Ph-2, Ph-3, Ph-4等の位置データが獲得される。

【0036】そして、2回目のステップS9で、所定回数のキャリブレーション用物体配置が実行されたことを確認して、次のステップS12へ進む。

ステップS12；各 h (=0, 1, 2...n)について

て、上記ステップS6で計算した点Ph-1, Ph-2, Ph-3, Ph-4等の位置データから、各 h について、これらの点Ph-1, Ph-2, Ph-3, Ph-4等が共通に乗っている平面 (=投光面L1h)を表わす方程式を規定するパラメータを求める。一般に、3次元空間内の平面は、前述の(2)式、 $AX + BY + CZ + D = 0$ で表わされるから、パラメータとしては、投光平面L1hを表現する方程式 $Ah X + Bh Y + Ch Z + Dh = 0$ を規定するAh, Bh, Ch, Dhを計算すれば良い。各 h の値(0, 1, 2...n)について求められたデータセットは、画像処理装置1内の所定のレジスタ領域に格納される。以上で、キャリブレーションが達成される。

【0037】なお、各投光平面L1hを定めるには、平面L1h上にあり且つ1直線上に存在しない最低3個の点の位置が判れば良いから、 h の1つの値に対応して指定される点Ph-1, Ph-2...は最低3個あれば足りる。従って、キャリブレーション用物体4の配置位置(Γ , Γ')は最低必要回数は1回である。例えば、キャリブレーション用物体4の配置位置を3種類(Γ , Γ' , Γ'')とし、各配置位置で1点づつ計3点の指定点を選んで位置データを獲得し、それに基づいて各 h に対応したAh, Bh, Ch, Dhを計算することも可能である。

【0038】しかし、一般には測定のバラツキによる誤差を回避する為に、1つのキャリブレーション用物体4の配置位置に対して2個以上（例えば5個）の点の位置を計算し、数個以上（例えば10個）の位置データから、最小2乗法等によってパラメータAh, Bh, Ch, Dhを計算することが望ましい。

【0039】また、指令値Vの刻み方、指令値Vの変更とキャリブレーション用物体4の配置位置の変更は順序等について適当な変更を加えても差し支えない。即ち、投光面上の3点以上の位置の計算とパラメータAh, Bh, Ch, Dhの計算はいつ行なっても構わない。

【0040】更に、パラメータAh, Bh, Ch, Dhを計測実行時の処理時間短縮を考慮し、適当な形に加工しておいても良い。例えば、デジタル値で指令値を与えるシステムを採用した場合に、指令値Vのデジタル刻みに対応したパラメータ値を補間計算によって先に計算してテーブルデータ形式で記憶することが考えられる。

【0041】

【発明の効果】本願発明により、スリット光投光型の3次元視覚センサにおけるスリット光投光方向に関するキャリブレーションが、簡単な計算処理によって行うこと出来るようになった。

【図面の簡単な説明】

【図1】スリット光投光型の3次元視覚センサの計測原理を説明する概念図である。

【図2】本願発明のスリット光キャリブレーション方法の適用対象とされる3次元視覚センサのシステム構成の

概略を示したものである。

【図3】本願発明に従ってキャリブレーションを実行する為の配置を概念的に示したものである。

【図4】図3に示した配置を用いてキャリブレーションを実行するプロセスの一例をフローチャート形式で示したものである。

【符号の説明】

- 1 画像処理装置
- 2 センサ部コントローラ
- 4 キャリブレーション用物体
- 10 センサ部
- 11 CCDカメラ
- 12 投光器

13 偏向用ミラー

14 側面用ミラーの回転軸

15 モータ

41 キャリブレーション用物体の平坦面

G11, G12, G13, G11', Q 光帶

I P イメージプレーン

L1, L11, L12, L13 投光平面

L2 カメラの視線

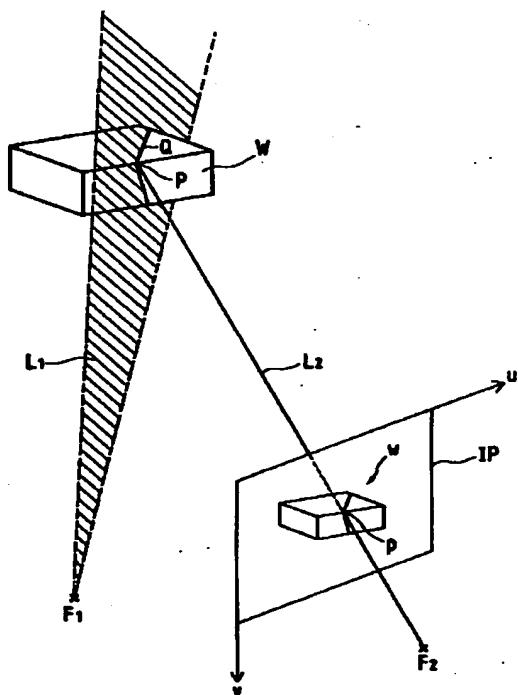
P 光帶上の点

10 P1-1 ~P2-2 位置を計算する指定点

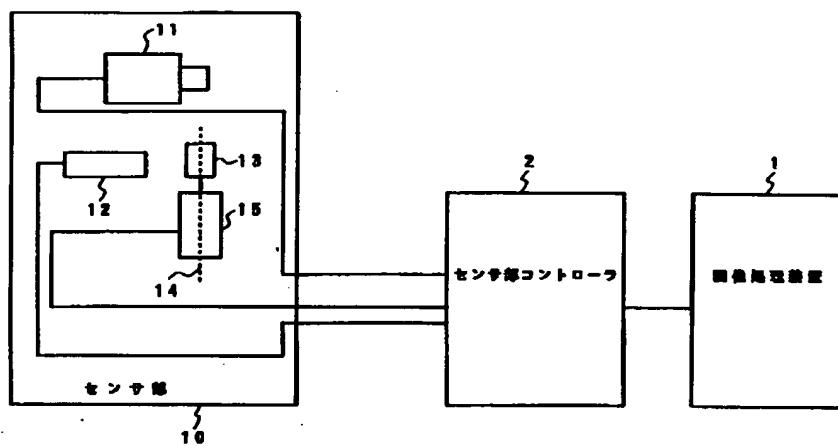
W 被計測対象物

Γ, Γ' キャリブレーション用物体の平坦面位置を表わす平面

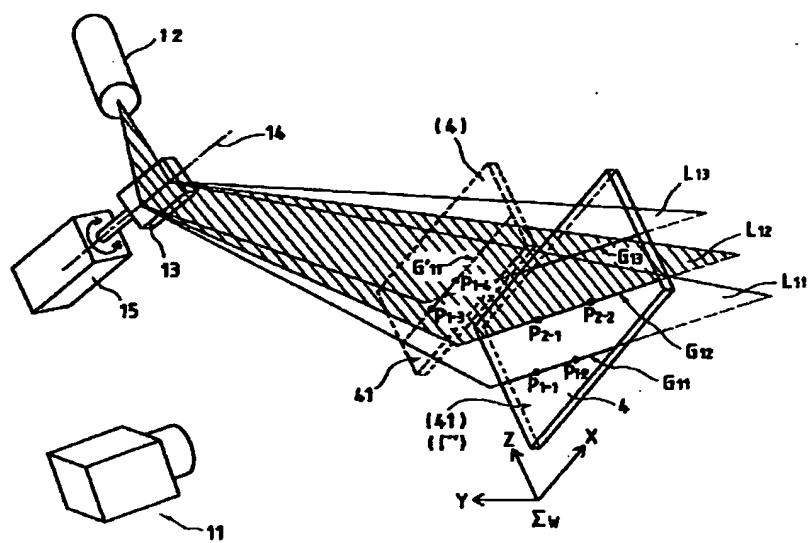
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

